

BÓVEDAS POR ARISTA DE PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS ASIMÉTRICOS

(GROIN VAULTS OF ASYMMETRICAL HYPERBOLIC PARABOLOIDES)

Luis F. López Díaz, Dr. Arquitecto

ESPAÑA

Fecha de recepción: 29-X-98

445-16

RESUMEN

Las bóvedas por arista laminares que se construyeron en décadas anteriores fueron concebidas sobre los mismos principios que las viejas bóvedas por arista de piedra y ladrillo, es decir, con lóbulos simétricos e iguales entre sí.

Introduciendo asimetrías en la forma de los lóbulos puede superarse el esquema tradicional, abriéndose un nuevo campo de posibilidades formales y espaciales que permite recuperar y renovar esta vieja tradición arquitectónica.

Las construcciones laminares que se muestran en el presente artículo están fundadas en esta idea.

SUMMARY

The shell groin vaults constructed in previous decades were based on the same principles as old stone and brick groin vaults; that is to say, with identical symmetrical foils.

By introducing asymmetries in the shape of the foils, the traditional design can be improved, thus opening up a new realm of formal and spatial possibilities which allow us to recover and renew this old architectural tradition.

The shell constructions which are described in this article are founded on this idea.

INTRODUCCIÓN

La bóveda por arista de paraboloides hiperbólicos reúne el más completo repertorio de características mecánicas que puede poseer una estructura laminar: el conjunto es muy estable, la doble curvatura anticlástica de sus lóbulos le proporciona una extraordinaria indeformabilidad y los pliegues que conforman las aristas, muy acusados en las zonas inferiores, eliminan el riesgo de pandeo de las regiones de apoyo (Fig. 1). Consecuentemente, puede cubrir los mayores vanos que son posibles en los cascarones de hormigón armado con la máxima esbeltez, ligereza, facilidad constructiva y economía; además, su espacio interior es extrovertido y de gran luminosidad y sus formas muestran una elegancia suprema.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Para el diseño de la bóveda por arista se ha repetido, tradicionalmente, el mismo esquema geométrico: planta en forma de polígono regular, arranques de las aristas a igual altura, plano tangente horizontal en el centro de la bóveda y lóbulos cilíndricos y simétricos respecto a sus respectivos ejes.

Ello es consecuencia de su origen: la formación de conjuntos estructurales basados en la repetición sucesiva de una misma unidad. Así se construyeron en la antigüedad innumerables edificios monumentales (Fig. 2).

Este tipo de bóveda se siguió utilizando con el hormigón armado, aunque formando ahora estructuras independientes en una sola unidad; algunas veces se sustituyó la forma

cilíndrica por superficies de simple o doble curvatura, pero nunca se alteró el esquema geométrico tradicional (Fig. 3). El gran inconveniente de ello consiste en no permitir muchas variantes, de ahí su caída en desuso.

No obstante, introduciendo la asimetría en la forma de los lóbulos, puede superarse tal rigidez, con lo que la solución

tradicional, en este nuevo planteamiento, pasa a ser un caso particular: si una bóveda por arista se configura con lóbulos asimétricos y distintos entre sí, pueden obtenerse conjuntos de planta y espacio libres; su proyección horizontal podrá ser un polígono irregular cualquiera y los apoyos podrán estar situados a diferentes alturas (Fig. 4); también podría inclinarse arbitrariamente el plano tangen-

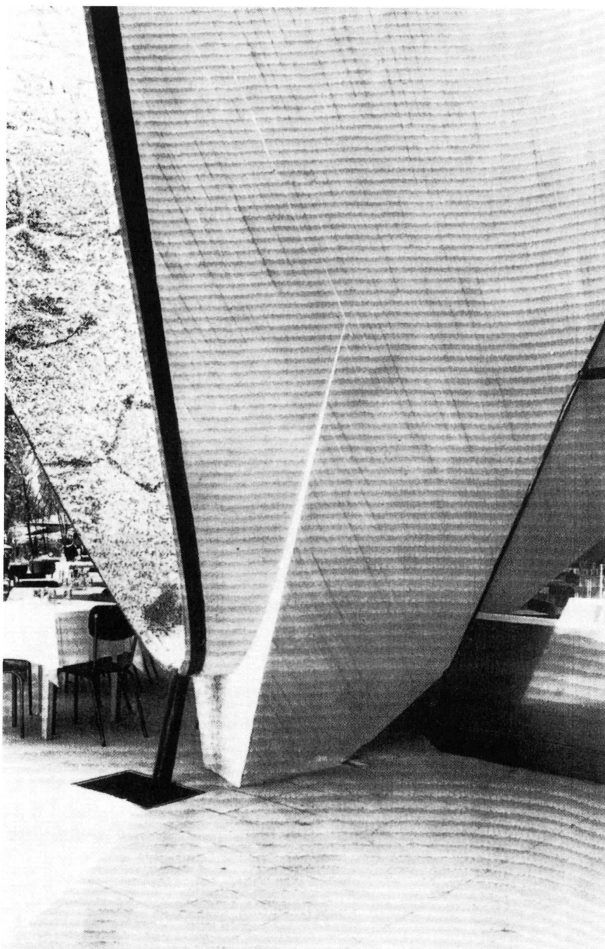


Figura 1.- Plegadura que conforma la arista.

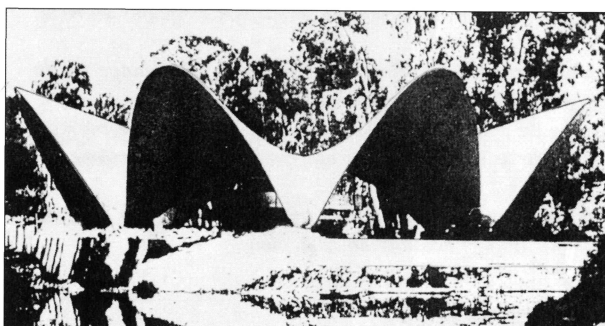
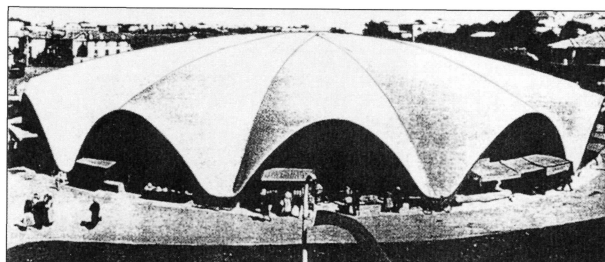
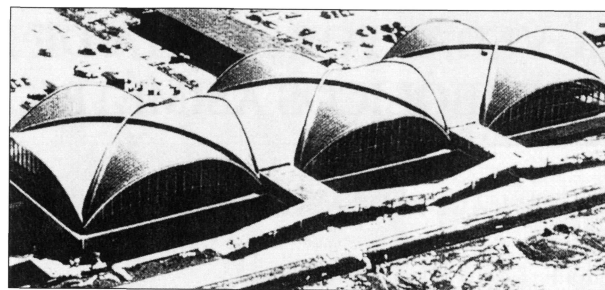


Figura 3.- Bóvedas por arista laminares de los años 50.

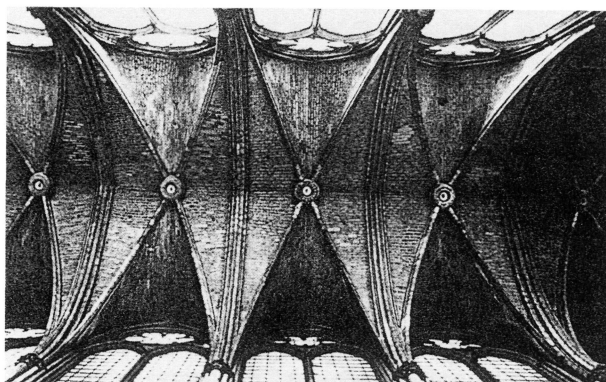


Figura 2.- Bóveda de crucería.

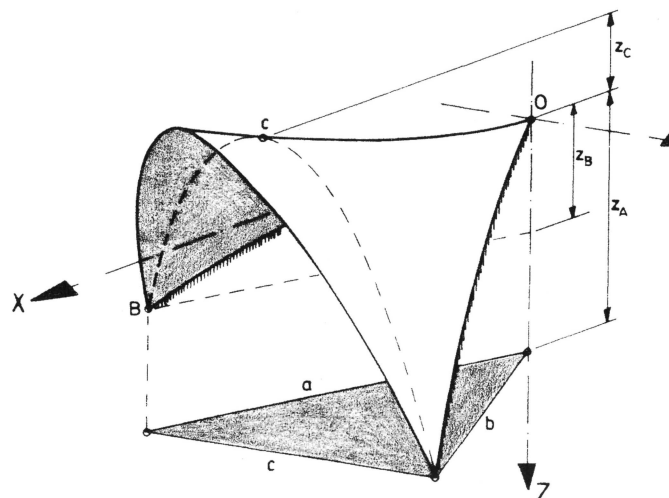


Figura 4.- Lóbulo asimétrico.



Figura 5.- Cubierta de vestíbulo sin cerramiento.



Figura 6.- Cubierta de vestíbulo con cerramiento.

te en el centro de la bóveda, con lo que puede agrandarse o reducirse la cáscara hacia cualquier dirección del espacio.

Sobre esta idea y utilizando paraboloides hiperbólicos, se realizaron las bóvedas por arista que se muestran a continuación. Todo ello constituyó la base de una Tesis Doctoral que se presentó en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria en octubre de 1997.

CUBIERTA DE VESTÍBULO

Pertenece a un complejo turístico situado al lado del mar, en el Sur de la isla de Gran Canaria (Figs. 5 y 6). Su planta forma un triángulo isósceles, con lados de 19,45 y 18,35 m; el lóbulo central es simétrico respecto a su propio eje y los dos lóbulos laterales, asimétricos. El eje normal al plano tangente al centro de la superficie laminar está inclinado 15,6 grados respecto de la vertical; el arranque de la arista frontal, situado sobre una jardinera que remata el núcleo de una escalera inclinada, se encuentra 1,50 m más alto que los de las otras dos (Fig. 7), las

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

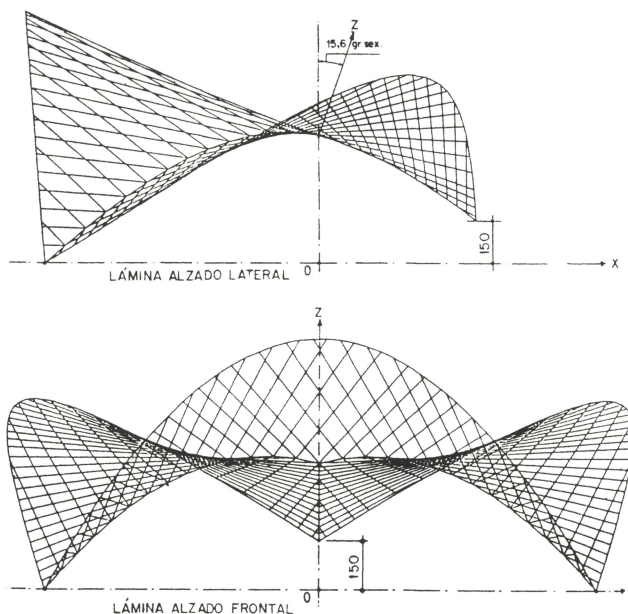
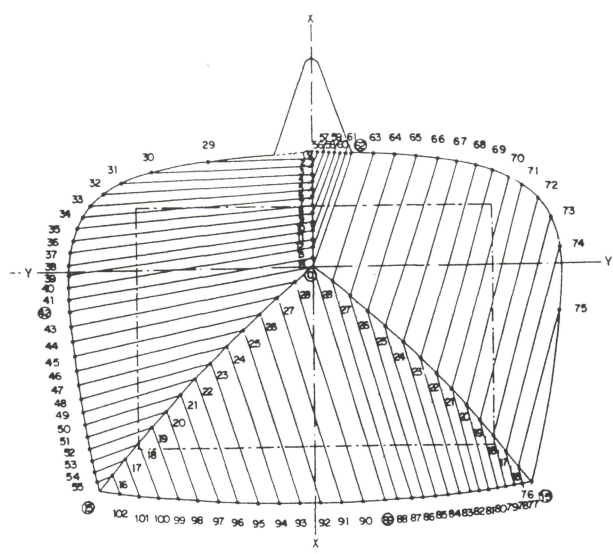


Figura 7.- Cubierta de vestíbulo. Planta y alzados.

cuales se prolongan en línea recta hasta el terreno (Fig. 8). En las figuras 9 y 10 se muestran algunos detalles de los apoyos.



Figura 8.- Cubierta de vestíbulo. Apoyo lateral.

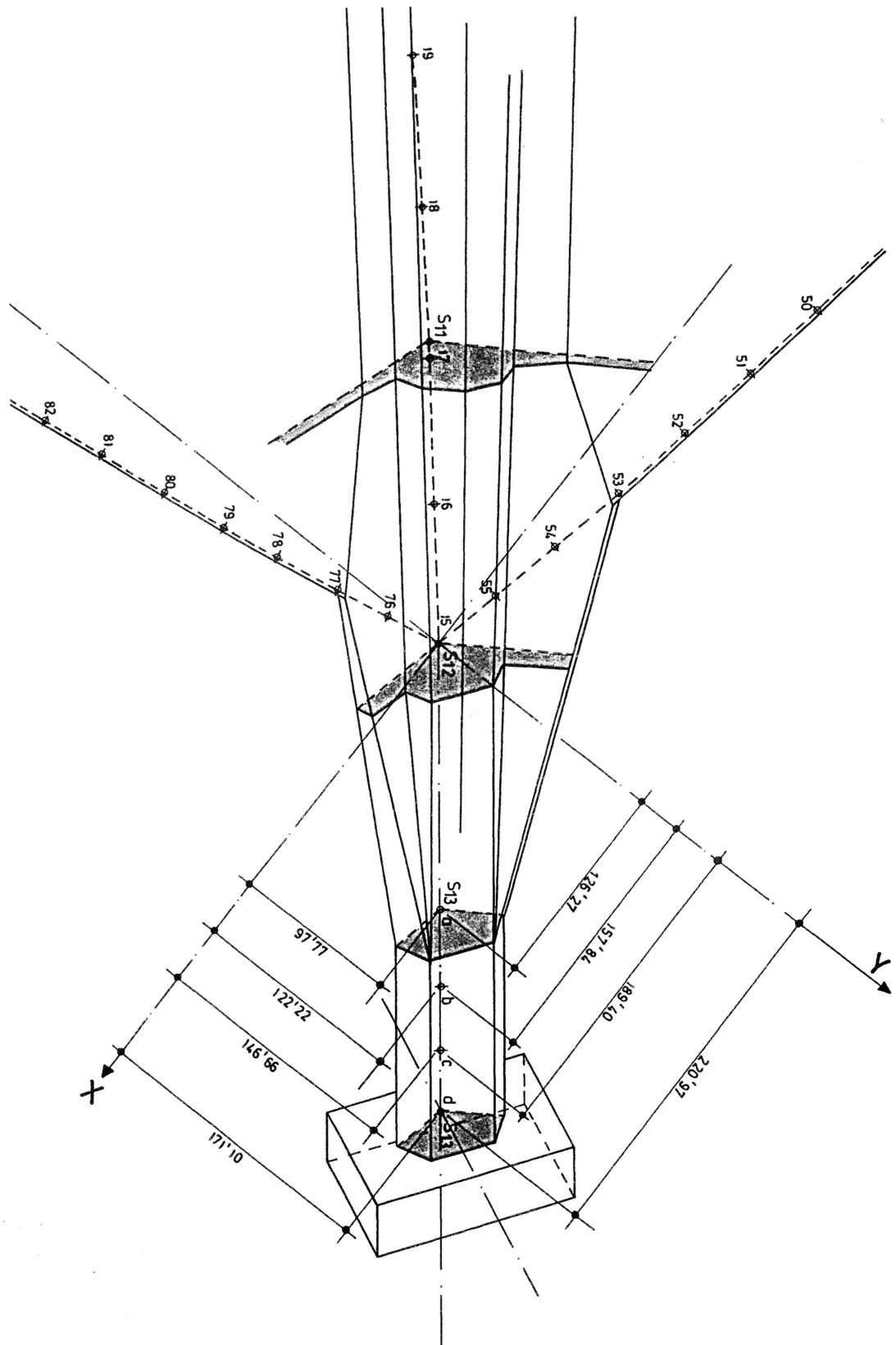


Figura 9.- Cubierta de vestíbulo. Apoyo lateral (Detalle).

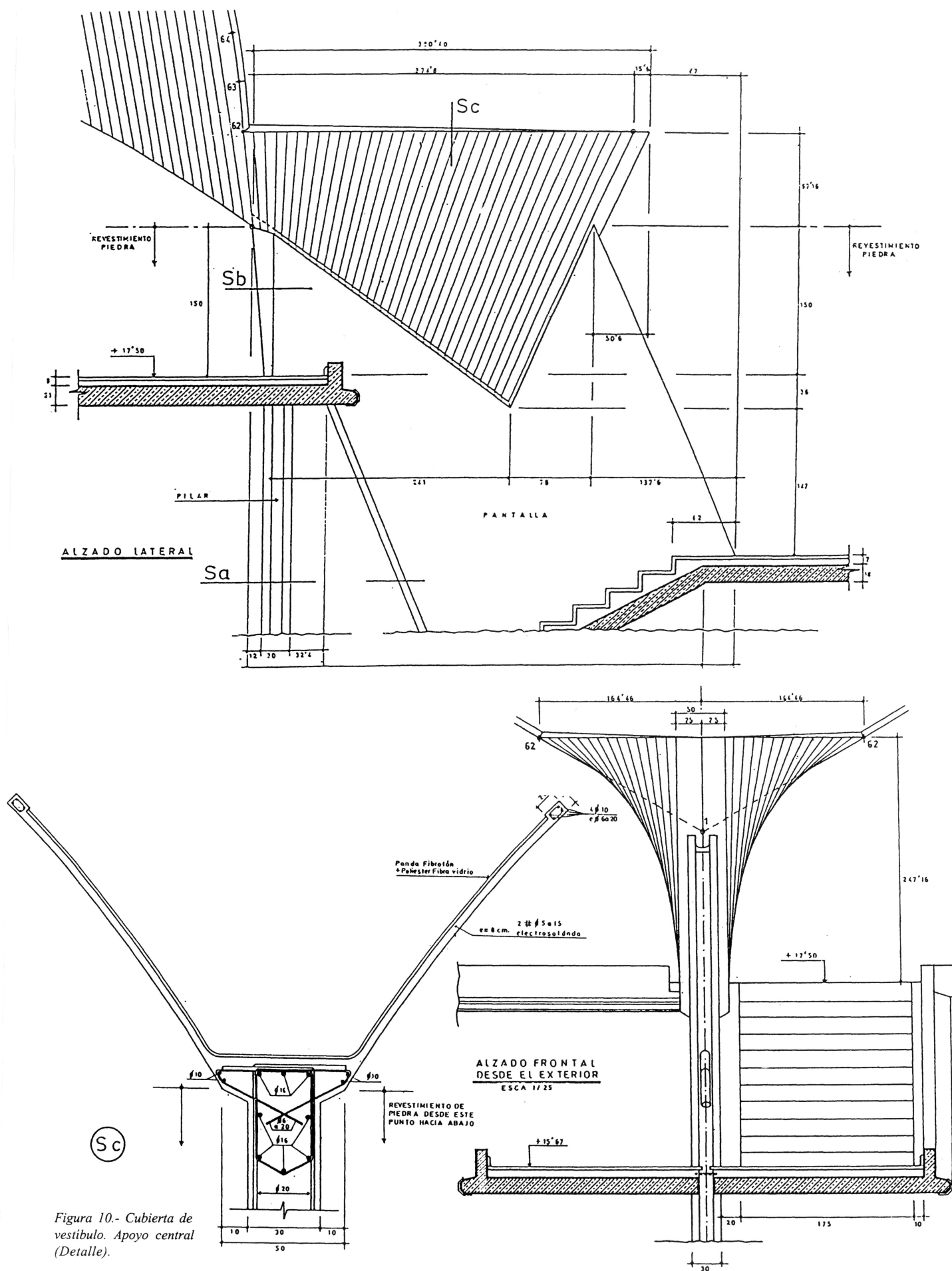


Figura 10.- Cubierta de
vestíbulo. Apoyo central
(Detalle).

El encofrado se realizó con celosías de metal desplegado clavadas a cilindros de madera de 2,5 cm de diámetro, colocados según las generatrices de los hypars y sobre listones apuntalados (Fig. 11).

En toda la superficie laminar el espesor es de 5 cm. Se utilizó hormigón con cemento blanco PB-450 que permitió desencofrar a los 3 días. Los cilindros de madera quedaron perdidos y vistos y, tras el desencofrado, se barnizaron; el intradós de la cubierta simplemente se revocó y pintó; el extradós se revistió con mortero armado con fibra de vidrio y pintura impermeable, de color blanco.



Figura 11.- Cubierta de vestíbulo. Encofrado.

El comportamiento de la estructura ha sido perfecto, no habiéndose observado fisura alguna. Los cerramientos se hicieron autoportantes para dejar libertad de movimientos a la lámina (Fig. 12).

Se construyó en diciembre de 1992, con un coste total de 5.400.000 pts ó 18.000 pts/m² (35.000 dólares USA ó 116 dólares/m²).

CUBIERTAS DE PENT-HOUSE

Son seis pequeñas unidades que cubren los salones-estar



Figura 12.- Cubiertas de vestíbulo y pent-house, terminadas.

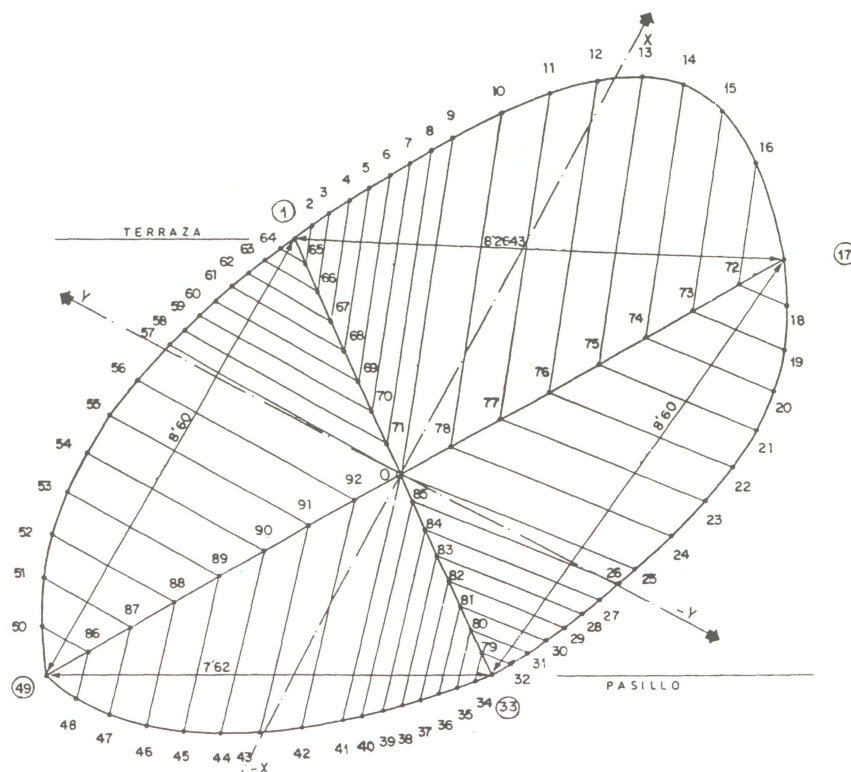


Figura 13.- Cubiertas de Pent-house. Planta.



Figura 14.- Cubiertas de Pent-house, abiertas.

de algunos apartamentos de las últimas plantas del mismo complejo turístico (Fig. 12). Constituyen bóvedas de cuatro aristas sobre plantas en forma trapezoidal; todos los hypars son asimétricos y distintos entre sí. Fueron construidas entre 1993 y 1995 (Figs. 13 y 14).

CUBIERTA PARA UN CENTRO DE TALASOTERAPIA

Se trata de la cobertura de un espacio de 2.200 m², destinado a albergar varias piscinas de agua de mar a 34 °C de temperatura y como lugar de estancia para los usuarios.

El conjunto se configuró mediante la agrupación de tres subbóvedas por arista iguales, en torno a un gran hueco central que puede, opcionalmente, abrirse o cerrarse con una lámina textil a fin de controlar la elevada humedad ambiental del recinto. Cada una de ellas está constituida por dos hypars asimétricos orientados hacia el exterior y otro simétrico vuelto hacia el interior (Fig. 15). Los bordes exteriores salvan vanos de 20 m y los del interior de 40 m; el conjunto cubre una luz libre de 50 m.

Se dispuso un arco metálico central de tres apoyos, para soportar el peso del entoldado del hueco (Fig. 16) y se unieron al mismo las partes bajas de lámina anexas a los bordes interiores, regiones donde convergen las aristas de dos lóbulos adyacentes; se forman, así, pliegues en forma de W que eliminan el riesgo de pandeo de esas zonas (Fig. 17). Los tres apoyos restantes se encuentran en la prolongación recta de las respectivas aristas y constituyen pliegues en forma de V (Fig. 18). El espesor de la superficie laminar es de 5 cm, aumentando gradualmente en áreas inferiores, hasta alcanzar un máximo de 12 cm.

Una parte de la cubierta está situada sobre suelo firme y la otra parte sobre una estructura convencional ya existente; ello condicionó su forma y complicó su infraestructura.

Las distintas subbóvedas, al ser autoportantes, se pudieron hormigonar en diferentes épocas, lo cual permitió reutili-

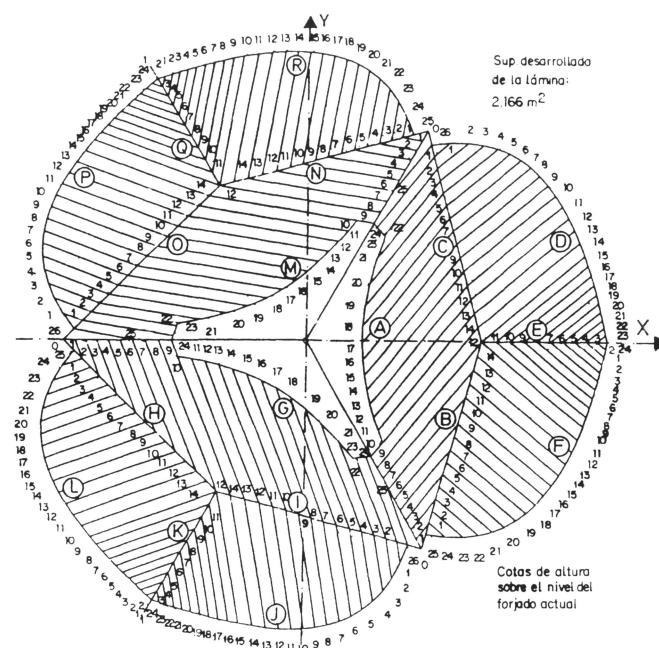


Figura 15.- Cubierta de una Talasoterapia. Planta y alzados.



Figura 16.- Cubierta de una Talasoterapia. Vista exterior.

zar parcialmente el encofrado de madera (Fig. 19). Se empleó hormigón normal de 250 kg/cm² de resistencia. El extradós se protegió térmicamente con un revestimiento ligero y una pintura impermeable y el intradós se



Figura 17.- Talasoterapia. Apoyo doble en W.

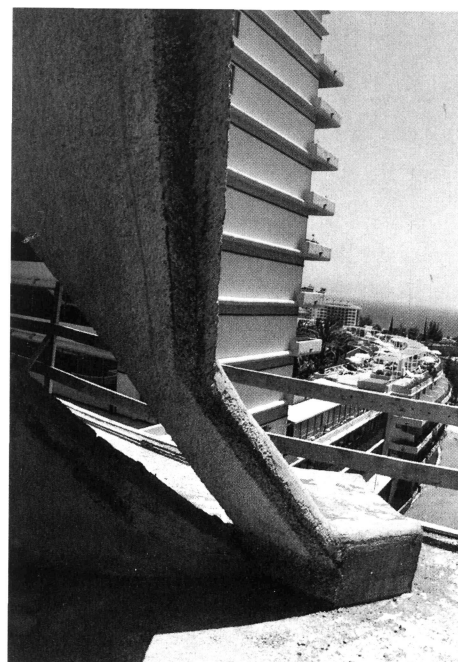


Figura 18.- Talasoterapia. Apoyo simple en V.



Figura 19.- Cubierta de Talasoterapia. Proceso constructivo.



Figura 21.- Talasoterapia. Vista interior.



Figura 20.- Talasoterapia. Vista lateral.

acondicionó acústicamente proyectando un material absorbente. Los cerramientos se diseñaron para resistir la acción del viento de manera independiente a la lámina (Figs. 20 y 21). En las figuras 22 y 23 se muestran detalles del armado.

Fue construida entre finales de 1996 y principios de 1997, con un coste final de 34.000.000 de pts ó 17.000 pts/m² (220.000 dólares USA ó 110 dólares/m²), en el que se incluyen la infraestructura, el arco metálico y los revestimientos.

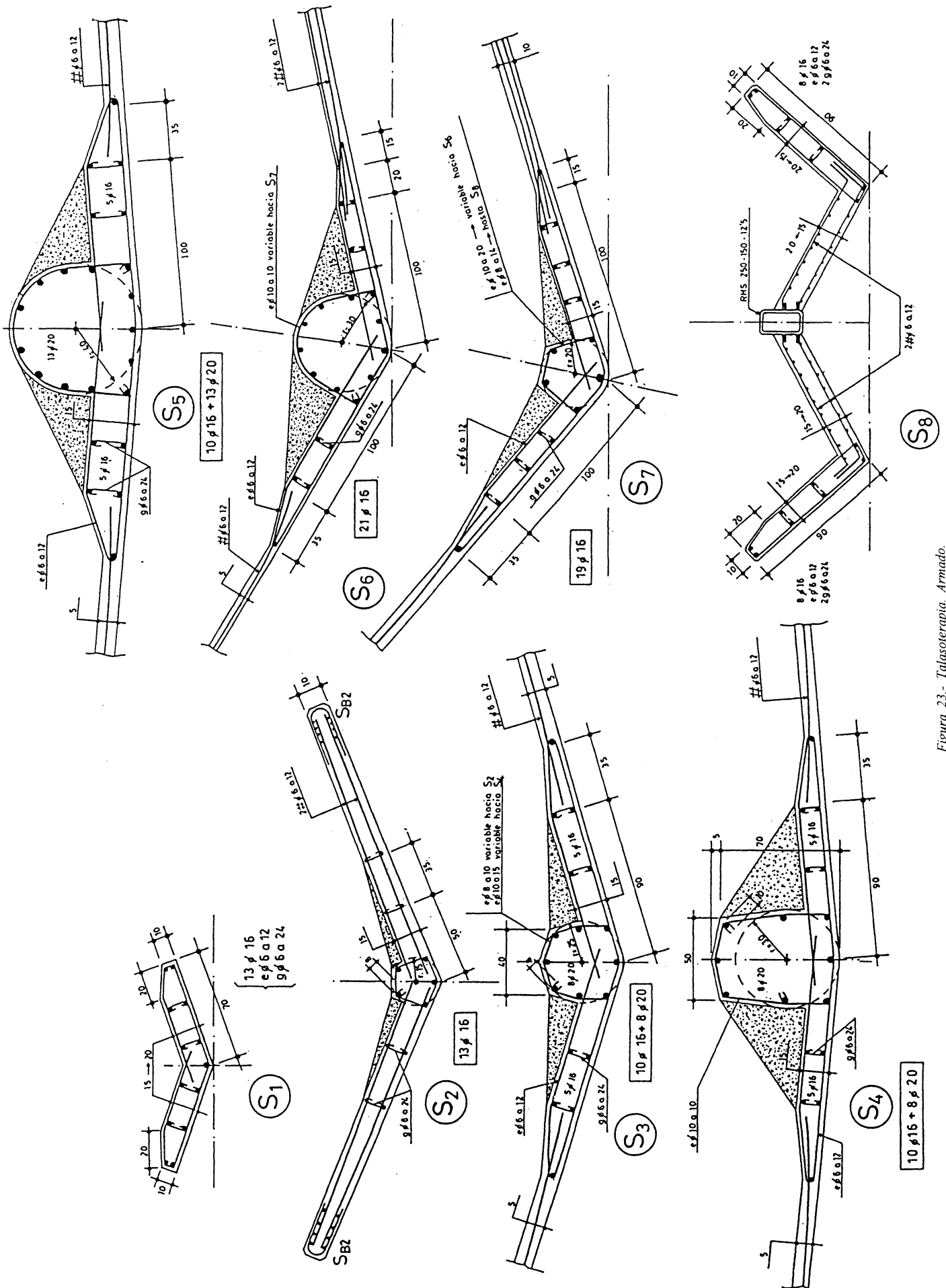


Figura 23.- Talasoterapia. Armado.

El comportamiento de la estructura, vigilado durante varios meses en los que incluso se desencadenaron fuertes vientos, ha sido totalmente satisfactorio: no se han producido fisuras ni flecha permanente alguna; sólo se han detectado los movimientos producidos por las variaciones de temperatura.

CONCLUSIONES

1. Las estructuras laminares siguen teniendo interés por su belleza y economía y, en ambientes húmedos y cálidos, por su durabilidad.
2. Las bóvedas por arista de lóbulos asimétricos ofrecen flexibilidad de diseño y un nuevo campo de posibilidades formales y espaciales.
3. Las bóvedas por arista de paraboloides hiperbólicos pueden alcanzar grandes luces con un coste reducido.
4. La asimetría en los lóbulos permite crear bóvedas de grandes dimensiones mediante la yuxtaposición de varias subbóvedas iguales o distintas entre sí, que se pueden

construir de manera independiente. En el primer caso puede reutilizarse el encofrado y, por tanto, reducir su coste.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al Dr. Arquitecto D. Félix Escrig Pallarés, por la dirección de mi Tesis Doctoral "Bóvedas por Arista de Paraboloides Hiperbólicos Asimétricos".

También quiero dar las gracias al Dr. Ingeniero de Caminos D. Avelino Samartín, por la realización de cálculos comparativos para la cubierta de la Talasoterapia.

FÉLIX CANDELA

Desde mi época estudiantil me sentí atraído por su obra y, tras conocerle, por su cálida personalidad; nos unió la fascinación por la belleza que generan las láminas de paraboloides hiperbólicos. Ahora ha muerto... pero su espíritu permanece cercano y seguirá siendo mi maestro.

* * *

Publicaciones del Instituto Eduardo Torroja-CSIC

<p>Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.</p> <p>Consejo Superior de Investigaciones Científicas.</p>	<p>ALOJAMIENTO Y TECNOLOGIA: ¿INDUSTRIALIZACION ABIERTA?</p> <p>Julián Salas Serrano</p> 	<p>SUMARIO:</p> <p>Prólogo Prof. G. Ciribini.</p> <p>Introducción</p> <p>Capítulo 1.—La industrialización en las proclamas y manifiestos de arquitectura.</p> <p>Capítulo 2.—¿Réquiem por la construcción industrializada?</p> <p>Capítulo 3.—Algunos conceptos básicos.</p> <p>Capítulo 4.—¿Proyecto tradicional, construcción industrializada?</p> <p>Capítulo 5.—Componentes.</p> <p>Capítulo 6.—La coordinación dimensional hoy.</p> <p>Capítulo 7.—Flexibilidad, intercambiabilidad y catálogos.</p> <p>Capítulo 8.—Industrialización, normativa y calidad.</p> <p>Capítulo 9.—Reflexiones finales.</p> <p>publicación del INSTITUTO EDUARDO TORROJA</p>
<p>ALOJAMIENTO Y TECNOLOGIA: ¿INDUSTRIALIZACION ABIERTA?</p> <p>JULIAN SALAS, ING. IND. (I.E.T.c.c.)</p> <p>Un volumen de 160 páginas, 109 figuras y 16 tablas. Tamaño 240 x 168 mm. Encuadernado en rústica.</p>		